

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий

Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук

подпись

«_____» _____ 2017 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.02 - Информационные системы и технологии

Анализ гидрографических характеристик водосборных бассейнов рек
Красноярского края

Руководитель _____ доцент каф. Б-ГИС, к.ф.-м-н. О.Э. Якубайлик
подпись, дата

Выпускник _____ М. Е. Таратута
подпись, дата

Нормоконтролер _____ Е.В. Федотова
подпись, дата

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук
подпись

« _____ » _____ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту Таратута Максиму Евгеньевичу

Группа: КИ13-21Б Направление (специальность): 09.03.02

Информационные системы и технологии

Тема выпускной квалификационной работы: «Анализ гидрографических характеристик водосборных бассейнов рек Красноярского края»

Утверждена приказом по университету № 2929/с от 07.03.2017 г.

Руководитель ВКР: Якубайлик Олег Эдуардович, доцент кафедры Б-ГИС

Исходные данные для ВКР: векторные слои с водными объектами, список с информацией о водных объектах, векторный слой с водосборными бассейнами на территорию Сибири.

Перечень разделов ВКР: Введение, Обзор предметной области и используемые определения, Описание используемого программного обеспечения и данных, Обработка исходных данных, Формирование бассейнов, Система идентификации водосборных бассейнов, Планы на будущее, Заключение, Список использованных источников.

Перечень графического материала: слайды презентации.

Руководитель ВКР

подпись

О.Э. Якубайлик

Задание принял к исполнению

подпись

М. Е. Таратута

« 29 » мая 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Анализ гидрографических характеристик водосборных бассейнов рек Красноярского края» содержит 41 страницу текстового документа, 1 таблица, 14 использованных источников.

ВОДОСБОРНЫЙ БАСЕЙН, ЕНИСЕЙ, СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ, ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Целью данной работы является формирование водосборных бассейнов реки Енисей.

Задачи:

- сформировать слой с крупными по водосборной площади реками бассейна реки Енисей (более 5000 км²) для которых будут формироваться водосборные бассейны;
- создать таблицу с уникальными идентификаторами рек и рек-родителей, а также информацией о водных объектах для дальнейшего экспорта таблицы в QGIS;
- сформировать водосборные бассейны рек бассейна реки Енисей;
- вычислить основные гидрографические характеристики водосборных бассейнов с помощью ГИС-технологий;
- организовать систему идентификации водосборных бассейнов.

В работе представлена карта водосборных бассейнов крупных по водосборной площади (более 5000 км²) рек бассейна реки Енисей, а также система идентификации бассейнов которая обеспечивает вложенность бассейнов разных порядков.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение..	3
1 Обзор предметной области и используемые определения	4
1.1 Обзор предметной области	4
1.2 Водохозяйственный участок реки Енисей	8
1.3 Дренажные системы	10
1.4 Основные гидрографические характеристики.....	11
1.5 Обзор систем идентификации бассейнов.....	13
2 Описание используемого программного обеспечения и данных	16
2.1 Геоинформационная система QGIS	16
2.2 Программа Microsoft Excel	17
2.3 База данных государственного водного реестра	18
2.4 Векторные слои с водными объектами	20
3 Обработка исходных данных.....	21
4 Формирование бассейнов.....	30
4.1 Объединение полубассейнов в бассейны.....	30
4.2 Корректировка границ полигонов.....	31
4.3 Добавление и заполнение новых полей в таблицу атрибутов	32
4.4 Вычисление площади и периметра водосборных бассейнов.....	33
5 Система идентификации водосборных бассейнов	36
6 Планы на будущее	38
Заключение	39
Список использованных источников.....	40

ВВЕДЕНИЕ

Выяснение взаимосвязей морфометрических параметров рельефа и различных гидрологических, гидрогеологических характеристик является основой для решения ряда теоретических и прикладных задач в областях экологии, оценок количественных и качественных характеристик водных ресурсов, моделирования, планирования развития территорий и др [1].

Проведение этих действий классическими методами, основанными на результатах натурных исследований, является достаточно трудоемким, дорогостоящим и сложно выполнимым процессом. Альтернативой классическим подходам может служить анализ средствами современных геоинформационных систем (ГИС), получивших развитие и ставших широко доступными пользователям в 90-х гг. XX в [1].

Целью данной работы является формирование водосборных бассейнов реки Енисей. Задачи, которые необходимо выполнить:

- сформировать слой с крупными по водосборной площади реками бассейна реки Енисей (более 5000 км²);
- создать таблицу с уникальными идентификаторами рек и рек-родителей, а также информацией о водных объектах и дальнейший экспорт таблицы в QGIS;
- сформировать водосборные бассейны рек бассейна реки Енисей;
- вычислить основные гидрографические характеристики водосборных бассейнов с помощью ГИС-технологий;
- организовать систему идентификации водосборных бассейнов.

1 Обзор предметной области и используемые определения

1.1 Обзор предметной области

Воды, находящиеся на поверхности суши в виде различных водных объектов, называются поверхностными водами, а находящиеся под земной поверхностью — подземными водами. Изучением их занимаются науки гидрология и гидрогеология [2].

Основным понятием в гидрологии суши считается водный объект. Водные объекты подразделяются на водотоки и водоемы.

Водный объект, в котором вода движется в направлении уклона в углублении земной поверхности, называется водотоком. Различают постоянные водотоки (движение воды происходит в течение всего года или большей его части) и временные (движение воды происходит меньшую часть года или эпизодически) [2].

Количество воды, поступающее в водный объект, зависит, в основном, от площади, с которой она собирается, получившей название "бассейн".

Бассейном, или водосбором, называется площадь земной поверхности, находящаяся выше по течению от замыкающего створа этого бассейна (проектируемого искусственного сооружения), с которого возможен к нему сток по склонам, логам и долинам. Бассейн в общем случае состоит из поверхностного и подземного водосборов.

Поверхностный водосбор представляет собой участок поверхности, с которого поступают воды в водный объект, а подземный водосбор образуют толщи почвогрунтов. Как правило, подземный и поверхностный водосборы по площади не совпадают. Однако из-за больших затруднений в определении границы подземного водосбора обычно в расчетах размеры бассейна принимают в пределах только поверхностного водосбора и вследствие этого не

делают различия между терминами "бассейн" и "водосбор" или объединяют их термином "водосборный бассейн" [2].

Для определения площади водосборного бассейна и указанных выше характеристик устанавливают границы каждого из пересекаемых водосборных бассейнов. Границы бассейнов, определяемые по горизонталям на картах, проводят в виде плавных линий. Существует несколько методов определения площади водосборного бассейна.

Метод планиметрирования.

Рекомендуется при определении площади больших бассейнов. Для этой цели применяется планиметр. Обвод площади производится плавно, без перерыва, с одинаковой скоростью.

Графический способ.

Площадь водосборного бассейна разбивается на ряд простейших геометрических фигур (треугольников, прямоугольников, квадратов и т.п.), определяется площадь каждой фигуры в соответствующем масштабе карты или плана, и затем эти площади суммируются:

$$F = f1 + f2 + \dots + f12,$$

где $f1, f2, \dots, f12$ – площади простейших геометрических фигур, на которые разбита площадь водосборного бассейна [2].

Кроме вышеперечисленных методов расчета площади бассейнов, существуют способы с помощью программного обеспечения (ПО).

В различных ГИС системах были созданы карты бассейнов для Ладожского озера.

ГИС «Бассейн Ладожского озера».

Гидрохимическая база данных (БД) включает информацию по 129 постам Росгидромета (53 - на водосборе бассейна, 39 - на акватории Ладожского оз., 8 - на акватории оз. Ильмень, 29 - на акватории Онежского оз.) с 1986 по 1989 гг. Занесены данные за 1990 – 1996 гг. по 10 постам на водосборе бассейна (Финляндия) и 24 постам на оз. Саймаа. Данные по посту включают ежемесячно измеряемые концентрации следующих ингредиентов: O₂, БПК₅, pH, бихроматная окисляемость, СПАВ, нефтепродукты, азот нитритный, азот нитратный, азот аммонийный, фосфор минеральный, Cu, Pb, Cd, Mn, Cr, Zn, Hg [3].

Гидрологическая БД включает среднемесячные расходы воды за период 1968 - 1989 гг., среднегодовой, минимальный 30-дневный летний, минимальный 30-дневный зимний расходы воды за 1986 - 1989 гг., среднегодовые расходы воды за период наблюдения [3].

Программная среда и языки программирования: ГИС MAPINFO, язык MAPBASIC.

ГИС «Информационно-справочный атлас Ладожского озера».

Атлас включает результаты многолетних исследований Ладожского озера, которые представлены в виде электронных карт, диаграмм, графиков и рисунков. Он состоит из 4-х тематических разделов:

- «Водосборный бассейн и котловина озера»;
- «Гидрология и гидрофизика водных масс»;
- «Концентрация химических компонентов в водной массе и донных отложениях»;
- «Органический мир озера».

Написан на языке С [3].

Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съемки Shuttle radar topographic mission (SRTM) (на примере бассейна р. Терешки) [4].

На основе радарной спутниковой съемки выполнен комплекс картометрических и морфометрических расчетов. На базе ГИС с использованием автоматизированных процедур построены карты эрозионной сети и водосборных бассейнов на территорию бассейна р. Терешки. Имеющаяся картографическая база и методический аппарат моделирования позволяют в последующем осуществить построение карт комплексных морфометрических показателей, базисных и остаточных поверхностей, а также других параметров рельефа [4].

Моделирование гидрологических характеристик бассейна р. Терешки производилось в среде ArcGIS с помощью инструмента Hydrology, модуля пространственного анализа SpatialAnalyst. Предварительно исходные файлы на моделируемую территорию в формате *.HGT были конвертированы в формат *.DEM с помощью программы GlobalMapper 9.0. Затем сшитый растр (грид) высот был импортирован в ArcGIS [4].

Существует множество способов расчета бассейнов рек с помощью различных геоинформационных систем, способов подсчета в «ручную» с помощью математических формул. Гидрология касается всех сфер жизнедеятельности людей, поэтому у данной темы существует много способов подсчета бассейнов.

Данная работа может быть использована в широком спектре теоретических и прикладных задач в областях экологии, оценок количественных и качественных характеристик водных ресурсов, моделирования, планирования развития территорий и др.

1.2 Водохозяйственный участок реки Енисей

Водохозяйственный участок (ВХУ) согласно Водному кодексу России — это часть речного бассейна, имеющая характеристики, позволяющие установить лимиты изъятия водных ресурсов из водного объекта и другие параметры водопользования [5].

Каждый водохозяйственный участок России имеет свой код 12-значный код, содержащий 9 цифр и 3 разделяющие точки. Первыми двумя цифрами кодируется бассейновый округ, третьей и четвёртой кодируется код бассейна, шестая и седьмая являются опциональным обозначением подбассейна, последними цифрами кодируется непосредственно сам водохозяйственный участок [5].

В его составе выделено 7 гидрографических единиц подбассейнового уровня, которые, в свою очередь, подразделены на 24 ВХУ (Водохозяйственных участка) [5].

Код и наименование гидрографических единиц и ВХУ (Водохозяйственный участок) приведены ниже.

Подразделы Енисейского бассейнового округа выделяются цифровым кодом 17 [5].

17.01.01 Большой Енисей

Составляет юго-восточную часть бассейна Енисея. Расположен в горах Саяны и ограничивается практически со всех сторон его хребтами.

17.01.02.001 Малый Енисей

Включает бассейн р.Малый Енисей от границы РФ с Монголией до устья. Бассейн расположен в узкой долине, низовья - в Тувинской котловине. Водохозяйственный участок целиком расположен на территории Республики Тыва. Площадь водохозяйственного участка в пределах границ России составляет 40,5 тыс. км².

17.01.03 Енисей между слиянием большого и малого Енисея и впадением Ангары

Охватывают южную часть бассейна Енисея и занимают юго-восточную часть Средней Сибири. С юга территория ограничена хребтами Восточного Саяна. Значительную часть территории занимает Приангарское плато.

17.01.03.001 Енисей от истока до Саяно-Шушенского г/у

Водохозяйственный участок расположен на территории Республик Тыва, Хакасии и Красноярского края. Площадь водохозяйственного участка составляет 64,5 тыс. км². 17.01.03.002 Енисей от Саяно-Шушенского г/у до впадения р.Абакан Водохозяйственный участок расположен на территории Республики Хакасия и Красноярского края. Площадь водохозяйственного участка составляет 44 тыс. км².

17.01.03.003 Енисей от впадения р. Абакан до Красноярского г/у

Водохозяйственный участок расположен на территории Республики Хакасия, Красноярского края и Иркутской области. Площадь водохозяйственного участка составляет 65 тыс. км².

17.01.03.004 Кан

Водохозяйственный участок включает полностью бассейн р. Кан от истока на северных склонах горного массива Канского Белогорья до устья. На своем пути р.Кан пересекает Канско-Рыбинскую котловину и южные отроги Енисейского кряжа. Водохозяйственный участок расположен на территории Красноярского края и Иркутской области. Площадь водохозяйственного участка составляет 36,9 тыс. км².

17.01.03.005 Енисей от Красноярского г/у до впадения р. Ангара без р. Кан

Водохозяйственный участок полностью расположен на территории Красноярского края. Площадь водохозяйственного участка составляет 30,1 тыс. км².

17.01.03.200 Водные объекты бассейна оз. Убсу-Нур на границе РФ с Монголией

Бассейн оз. Убсу-Нур относится к северной окраине бессточной системы Котловины Больших Озер. Водохозяйственный участок расположен целиком в Республике Тыва. Площадь водохозяйственного участка составляет 19,5 тыс. км² [6].

1.3 Дренажные системы

Под дренажной системой понимается площадь, на которую выпадают осадки, и сеть водотоков, по которым вода проходит до точек устьев (стока). Поток воды через дренажную систему - это только часть того, что обычно называют гидрологическим циклом, в который также входят: выпадение осадков, испарение и подземный сток. В данной статье упор сделан на движении воды по поверхности земли. Дренажный бассейн - это область, из которой вода и другие вещества выносятся в одну общую точку стока.

Дренажный бассейн может также обозначаться такими терминами, как водосбор, бассейн, водосборная область. Эта область обычно определяется как общая площадь, из которой осуществляется поверхностный сток в заданную точку устья или точку стока. Точка устья - это точка, в которую осуществляется весь сток из водосборной области. Обычно это самая низкая точка вдоль границы дренажного бассейна. Граница между двумя бассейнами называется водоразделом или границей водосбора. В представленных материалах будут использованы термины водосбор, точка устья и граница водосбора.



Рисунок 1 – Пример дренажного бассейна

Сеть, по которой вода стекает в точку устья, может быть визуализирована в виде дерева, основание которого (самая нижняя часть ствола) является стоком. Ветви дерева - это русла водотоков. Пересечение двух русел водотоков рассматривается как узел или соединение. Участки канала водотока, проходящие между двумя последовательными соединениями, или соединением и точкой устья, рассматриваются как звенья водотоков [7].

1.4 Основные гидрографические характеристики

При гидрологических расчетах для строительного проектирования, а также при проведении комплексных гидрологических исследований для изучения водного режима территории широко используются основные гидрографические характеристики водных объектов и поверхности их водосборов. С дальнейшим развитием гидрологических исследований, в частности методов гидрологических расчетов, количество таких характеристик

постоянно увеличивается. В настоящее время для этой цели используются около 50 различных характеристик. Ниже приводится классификация и терминология основных гидрографических характеристик.

Термин "гидрографические характеристики" определяется как совокупность морфометрических и морфологических характеристик водных объектов и их водосборов, дающих достаточно полное представление о характере, форме, размерах, протяженности водных объектов и некоторых физико-географических особенностях их водосборов.

Морфометрические характеристики представляют собой количественные показатели водных объектов и водосборов, а морфологические - качественно-количественные показатели строения поверхности водосборов.

Для удобства рассмотрения морфометрические характеристики в настоящем руководстве подразделяются на три группы:

- морфометрические характеристики водотоков - количественные показатели, дающие представление о размерах, форме, уклонах различных водотоков. К ним относятся: длина, гидрографическая длина, средний уклон, координаты продольного профиля, извилистость, координаты поперечного профиля;

- морфометрические характеристики водоемов, которые представляют собой также количественные показатели, характеризующие вид, форму, высотное положение, размеры ложа водоемов и объемы воды в них. К ним относятся: площадь водоема, площадь водосбора, уровень воды, нормальный подпорный уровень (НПУ) водохранилища, уровень мертвого объема (УМО) водохранилища, средняя глубина, максимальная глубина, объем озера или объем водохранилища (полный и полезный), длина, максимальная ширина и координаты батиграфической кривой водоема;

- морфометрические характеристики водосборов - количественные показатели, дающие представление о форме, размерах и пространственном

положении водосбора. К этим характеристикам относятся: площадь, средняя высота, средний уклон склонов, густота речной сети, густота русловой сети, площадь замкнутых впадин, координаты гипсографической кривой, коэффициент канализованности речной сети.

Морфологические характеристики водосборов - качественно-количественные показатели, характеризующие особенности строения водосбора. К ним относятся: озерность, взвешенная озерность, количество и суммарная площадь естественных сточных и бессточных водоемов, количество и суммарная площадь искусственных водоемов, заболоченность, распаханность, лесистость, оледененность, урбанизированность, закарстованность, характер почво-грунтов водосбора, мерзлотность.

1.5 Обзор систем идентификации бассейнов

На протяжении многих лет было разработано несколько систем кодирования для бассейнов и поточных датчиков организациями, нуждающимися в организации гидрологических данных. Схемы кодификации бассейна напрямую касаются необходимости нумерации единиц естественного ландшафта, которые находятся в центре внимания управления речным бассейном [8].

Отдел водных ресурсов Геологической службы США (USGS) имеет свою систему гидрологических подразделений, которая делит территорию США на 21 крупный регион, состоящий из 222 субрегионов. Субрегионы системы разбиты на последовательно меньшие единицы учета и каталогизированные единицы. Границы этих единиц определяются в терминах топографических речных бассейнов и подбассейнов. Код гидрологического блока (HUC) представляет собой восьмизначное число, которое имеет две цифры для обозначения региона, субрегиона, единицы учета и блока каталогизации.

Гидрологические единицы очерчивают все речные бассейны с площадью дренажа не менее 1800 км², за исключением Аляски, где используется гораздо более большая минимальная площадь дренажа. В некоторых случаях выделяются единицы, меньше этого predetermined предела. Приблизительные средние области регионов, субрегионов, единиц учета и единиц каталогизации составляют соответственно 500 000, 50 000, 25 000 и 4000 км². Система гидрологического подразделения используется государственными органами США и другими федеральными и государственными органами в качестве основы для отчетности и планирования использования и развития водных ресурсов. Система не была распространена на районы за пределами США [8].

Французская исследовательская организация ORSTOM использует девятизначную систему для станций, для которых она имеет данные в Африке, Южной Америке, Европе и Океании. Первая цифра обозначает континент, вторая и третья идентифицируют страну, а четвертый и пятый - континентальный речной бассейн с максимум 99 основными речными бассейнами на один континент, выбранный ORSTOM. Реки, которые дают свои названия бассейнам и их алфавитный порядок, определяют численное значение кода бассейна. Шестая и седьмая цифры, используемые в системе, идентифицируют реку, на которой найдена измерительная станция, а восьмая и девятая цифры однозначно указывают станцию, учитывая информацию, содержащуюся в предыдущих цифрах. Эта система была определена только для тех регионов, для которых ORSTOM имеет данные [8].

В Бразилии агентство по гидроэнергетике, Departmentament Nacional de Aguas e Energia Eletrica (DNAEE), определило схему кодирования для измерительных станций, которые несколько напоминают систему NWIS. Он использует две ведущие цифры для представления бассейнов и подбассейнов. Для страны имеется девять бассейнов (1-9), каждая из которых подразделяется

на 10 подбассейнов (0-9). После этого цифры цифр три, четыре и пять используются для номеров станций, причем значения возрастают от восходящего потока вниз. Цифры шесть, семь и восемь предназначены для размещения станций, добавленных в будущем, хотя обычно они отображаются как нули (000). Не существует возможности дальнейшего деления бассейнов за пределами 10 подбассейнов. Система DNAEE определяется только для территории Бразилии [8].

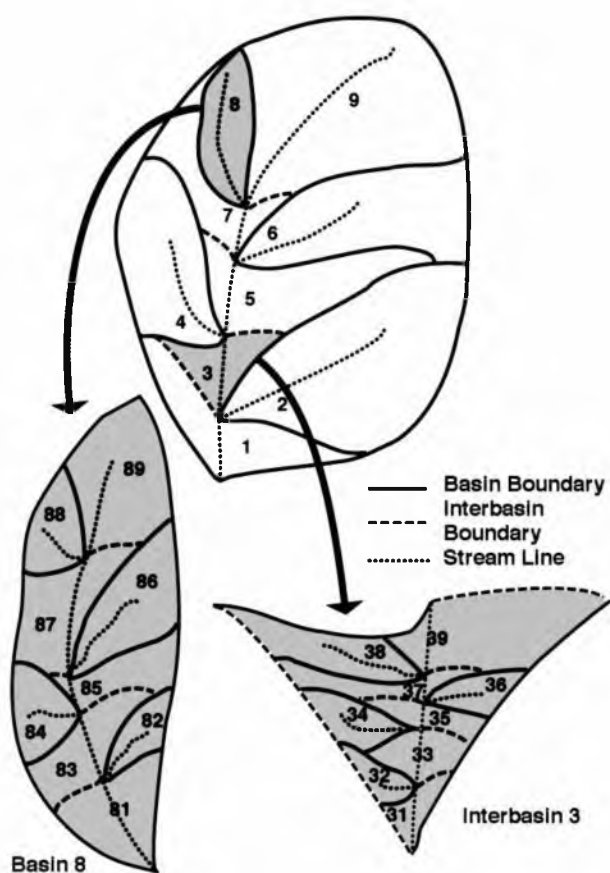


Рисунок 2 - Образец разделения бассейна и подбассейна, полученные путем применения правил кодификации Pfafstetter.

2 Описание используемого программного обеспечения и данных

2.1 Геоинформационная система QGIS

QGIS — свободная кроссплатформенная геоинформационная система. Работа над QGIS была начата в мае 2002 года, а в июне того же года — создан проект на площадке SourceForge. Целью создания QGIS было сделать использование геоинформационных систем легким и понятным для пользователя, чего создатели QGIS отчасти добились: интерфейс QGIS намного понятнее для неискушенного пользователя, а в некоторых аспектах даже превосходит широко распространенные ГИС [9].

Данная система позволяет просматривать и накладывать друг на друга векторные и растровые данные в различных форматах и проекциях без преобразования во внутренний или общий формат. Поддерживаются следующие основные форматы:

- пространственные таблицы PostgreSQL с использованием PostGIS, векторные форматы, поддерживаемые установленной библиотекой OGR, включая shape-файлы ESRI, MapInfo, SDTS (Spatial Data Transfer Standard) и GML (Geography Markup Language) и др.;

- форматы растров и графики, поддерживаемые библиотекой GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), такие, как GeoTIFF, ErdasIMG, ArcInfo, ASCIIGrid, JPEG, PNG и др.

- базы данных Spatialite;

- растровый и векторный форматы GRASS (область/набор данных).

Имеется возможность анализировать векторные пространственные данные в PostgreSQL/PostGIS и других форматах, поддерживаемых OGR, используя модуль fTools, написанный на языке программирования Python [9].

В настоящее время QGIS предоставляет возможность использовать инструменты анализа, выборки, геопроессинга, управления геометрией и базами данных. Также можно использовать интегрированные инструменты GRASS, которые включают в себя функциональность более чем 300 модулей GRASS [9].

QGIS может быть использована для экспорта данных в map-файл и публикации его в сети Интернет, используя установленный веб-сервер Mapserver. QGIS может быть использована как клиент WMS/WFS и как сервер WMS [9].

QGIS может быть адаптирован к особым потребностям с помощью расширяемой архитектуры модулей. QGIS предоставляет библиотеки, которые могут использоваться для создания модулей. Можно создавать отдельные приложения, используя языки программирования C++ или Python [9].

2.2 Программа Microsoft Excel

Программа Microsoft Excel - это прикладная программа, входящая в Microsoft Office. Excel предназначена для обработки информации с помощью электронных таблиц. Электронная таблица - удобный инструмент для решения планово - финансовых, бухгалтерских и инженерных задач [10].

Программу Excel часто называют не редактором, а табличным процессором. Итак, Excel - это приложение, предназначенное для создания электронных таблиц и автоматизированной обработки табличных данных. Электронные таблицы - это рабочие листы, из которых состоит рабочая книга Excel [10].

Электронная таблица – это электронная матрица, состоящая из строк и столбцов. На пересечении строк и столбцов образуются ячейки с уникальными именами. Именно ячейки являются основным элементом электронной таблицы. В ячейки могут вводиться данные, на которые можно ссылаться по именам ячеек. К данным относятся: числа, даты, время суток, текст или символьные данные и формулы.

К обработке данных в электронных таблицах относятся:

- проведение различных вычислений с помощью формул и функций, встроенных в Excel;
- построение диаграмм;
- обработка данных в списках Excel (Сортировка, Автофильтр, Расширенный фильтр, Форма, Итоги, Сводная таблица);
- решение задач оптимизации (Подбор параметра, Поиск решения, Сценарии "что - если" и т.д.);
- статистический анализ данных (инструменты анализа из надстройки "Пакет анализа").

Итак, Excel является приложением, которое имеет различные инструменты (меню и панели инструментов) для создания и обработки электронных таблиц [10].

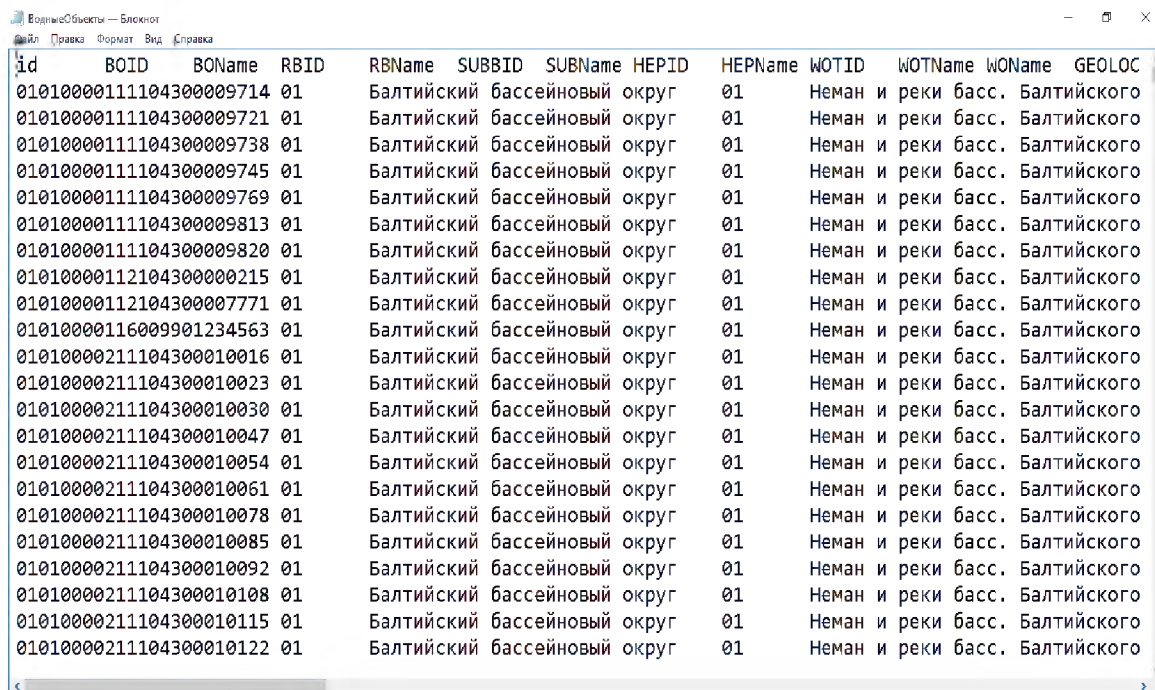
2.3 База данных государственного водного реестра

Государственный водный реестр — систематизированный свод документированных сведений о водных объектах, находящихся в федеральной собственности, собственности субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, физических и юридических лиц и

индивидуальных предпринимателей, об использовании водных объектов, о речных бассейнах и бассейновых округах [11].

Сведения, содержащиеся в реестре, относятся к государственным информационным ресурсам и носят открытый характер, за исключением информации, отнесенной законодательством Российской Федерации к категории ограниченного доступа [11].

Для работы был получен список водных объектов в виде трех txt-файлов, взятых с сайта voda.mnr.gov.ru («Федеральное агентство водных ресурсов») (рисунок 3).



id	BOID	BOName	RBID	RBName	SUBBID	SUBName	HEPID	HEPName	WOTID	WOTName	WOName	GEOLoc
01010000111104300009714	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000111104300009721	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000111104300009738	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000111104300009745	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000111104300009769	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000111104300009813	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000111104300009820	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000112104300000215	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000112104300007771	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000116009901234563	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000211104300010016	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000211104300010023	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000211104300010030	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000211104300010047	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000211104300010054	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000211104300010061	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000211104300010078	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000211104300010085	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000211104300010092	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000211104300010108	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000211104300010115	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								
01010000211104300010122	01	Балтийский бассейновый округ	01	Неман и реки басс. Балтийского								

Рисунок 3 – Список водных объектов в формате txt

2.4 Векторные слои с водными объектами

Векторные данные используются для отображения объектов реального мира в ГИС. Векторные объекты характеризуются атрибутами, которые состоят из текстовой и числовой информации, описывающей объект [12].

Вид векторных объектов определяется их геометрией. Геометрия состоит из одной или нескольких соединённых между собой вершин или узлов. Каждая вершина описывает положение в пространстве с использованием координат X, Y и опционально Z. Геометрии с координатой Z часто называют 2.5D-геометриями, так как они описывают высоту или глубину каждого объекта, но не оба эти измерения [12].

Когда геометрия объекта состоит из одного узла, это точечный объект. Когда геометрия состоит из двух и более узлов, причем первый и последний узел не совпадают, это линейный объект. Если объект образован тремя или более узлами, причем первый и последний узел совпадают, то это полигональный объект [12].

Для работы были получены полигональный и линейный векторные слои с водными объектами в масштабе 1:1 000 000 с сайта gis.krasn.ru (геопортал ИВМ СО РАН). В полигональном слое содержится 36299 объектов, а в линейном 99939.

3 Обработка исходных данных

Первым делом необходимо подготовить исходные данные для дальнейшей работы с ними. Для этого объединяем полученные txt-файлы в единую таблицу Excel.

В списке водных объектов в полученной таблице Excel, сформированном из нескольких txt-файлов, взятых с сайта федерального агентства водных ресурсов, с помощью фильтра выбираем реки бассейна реки Енисей с водосборной площадью более 5000 км² (рисунок 4).

id	WOTName	WOTName	POS	collecting	WOTlength	WOTarea	WOTtype	BOI	BOName	RBI	RBName	SM
5 17010300112116100000014	Река	ЕНИСЕЙ	48521	2580000	3487		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
5 17010700112116100061570	Река	Н.ТУНГУСКА	53961	4730000	2589		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	01
5 17010500112116100033870	Река	ПОДКАМЕН.ТУНГУСКА	51334	2400000	1865		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
2 17010700312116100073342	Река	КОЧЕЧУМ	55147	96400	733		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	01
3 17010500212116100041621	Река	Чуя (Южн. Чуя)	52008	70500	1000		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
3 17010200112116100004745	Река	МАЛЫЙ ЕНИСЕЙ	48178	58700	563		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	02
3 17010100112116100000027	Река	Бол. Енисей (Бий-хем, Бе	47641	56800	605		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	01
4 17010800112116100099860	Река	КУРЕЙКА	57754	44700	888		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
1 17010300312116100015313	Река	Туба	49226	36500	119		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
5 17010300412116100021269	Река	КАН	49814	36500	629		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
5 17010800212116100097346	Река	Туржун	57875	35800	639		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
7 17010500112116100054087	Река	Бахта	53336	35500	498		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
3 17010500312116100048526	Река	Вельмо	52528	33800	504		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
7 17010700312116100084874	Река	Таймура (Сев. Таймура)	56208	32500	661		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	01
2 17010300212116100012818	Река	АБАКАН	48863	32000	514		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
7 17010400212116100029574	Река	Сым (Прав. Сым)	51176	31600	694		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	04
5 17010320012116100157342	Река	Тес-хем (Тэсин-гол, Тэс,	50142	30500	757		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
5 17010800312116100103596	Река	Хантайна	58176	30700	174		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
4 17010900111116100004452	Озеро	Дюпкун	144725	27700		199	Водоем	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
5 17010200112116100005777	Река	Кызыл-хем (Шишид-гол)	48211	27300	377		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	02
7 17010300112116100008669	Река	Хемчик (Кемчик)	48433	27000	320		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
2 17010700312116100082733	Река	Виви	56153	26800	426		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	01
3 17010500112116100057194	Река	Елогуй (Прав. Елогуй)	53377	25100	464		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
3 17010800412116100111576	Река	Танама	59011	23100	521		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	00
3 17010400112116100026318	Река	Б.ПИТ	50321	21700	415		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	01
3 17010700312116100079085	Река	Тембенчи	55749	21600	571		Водоток	17	Енисейский бассейн	01	Енисей	01

Рисунок 4 – Вид отфильтрованных данных в таблице Excel по бассейну реки Енисей с водосборной площадью более 5000 км²

Далее загружаем линейный и полигональный векторные слои в QGIS (рисунок 5).

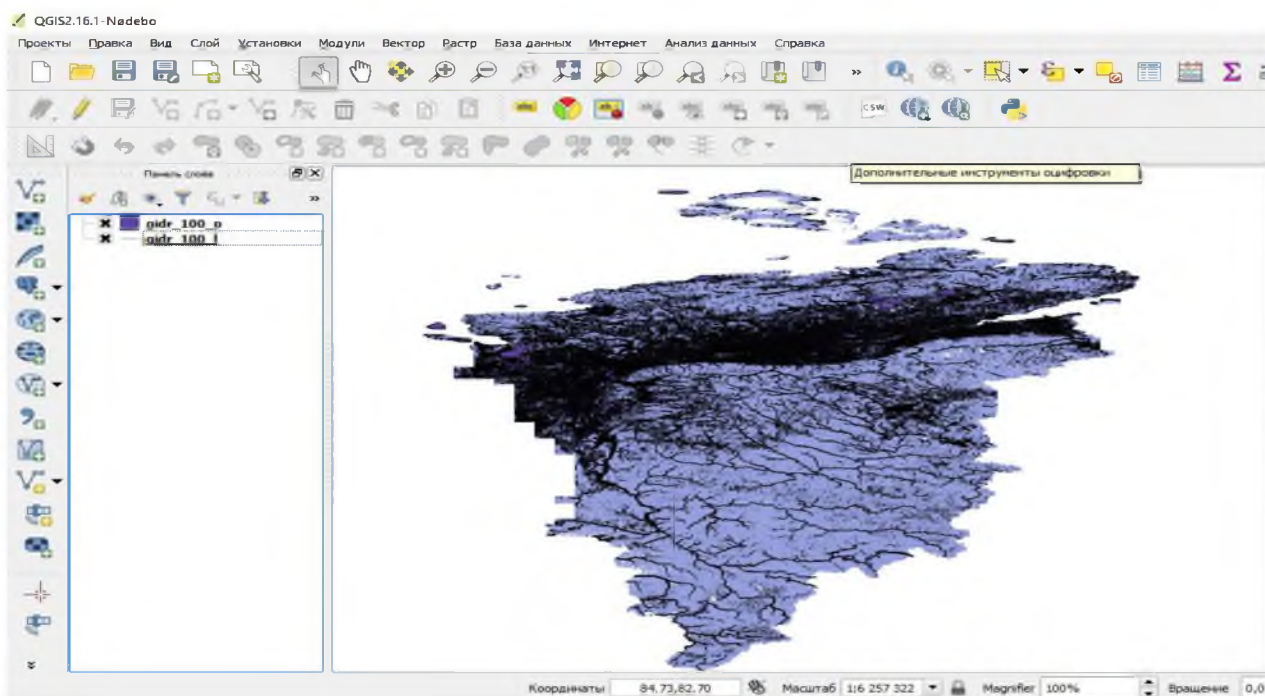


Рисунок 5 – Вид исходных слоев в QGIS

Создаем пустые линейный и полигональный слои для последующего их заполнения водными объектами пользуясь отфильтрованным ранее списком в таблице Excel.

С помощью инструмента «Выделение объектов удовлетворяющих условию» выбираем водные объекты по отфильтрованной таблице из линейного и полигонального слоев, для этого выбираем слой и в поле условия вводим: «"NAME" ILIKE 'Название реки'», копируем и вставляем в специально созданный линейный или полигональный слой (рисунок 6).

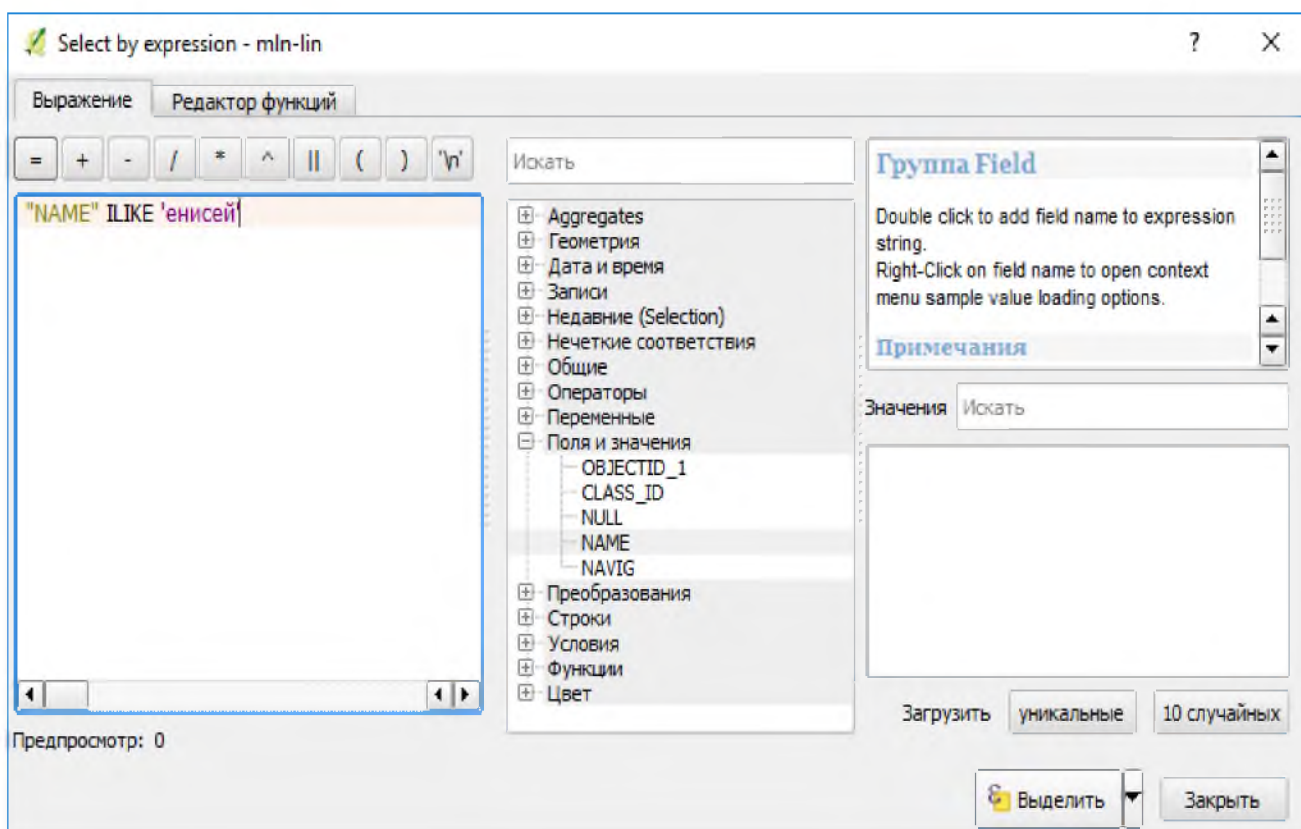


Рисунок 6 – Выделение объектов из слоев

Так же, для соблюдения связности речной сети добавляются водные объекты имеющие водосборную площадь менее 5000 км².

В результате получаем линейный и полигональный слой с отфильтрованными по площади водными объектами.

Преобразовываем полигоны в линии чтобы впоследствии создать один линейный слой, для этого нажимаем «Вектор» / «Обработка геометрии» / «Преобразовать полигоны в линии».

Объединяем линейный и преобразованный полигональный слой с помощью «Вектор» / «Геообработка» / «Объединение».

В линейном и полигональном слоях используем алгоритм Dissolve для того чтобы объединить линии с одинаковыми именами в один объект. Для

этого нажимаем «Вектор» / «Геообработка» / «Dissolve», где во всплывающем окне выбираем признак классификации по полю «NAME» (рисунок 7)

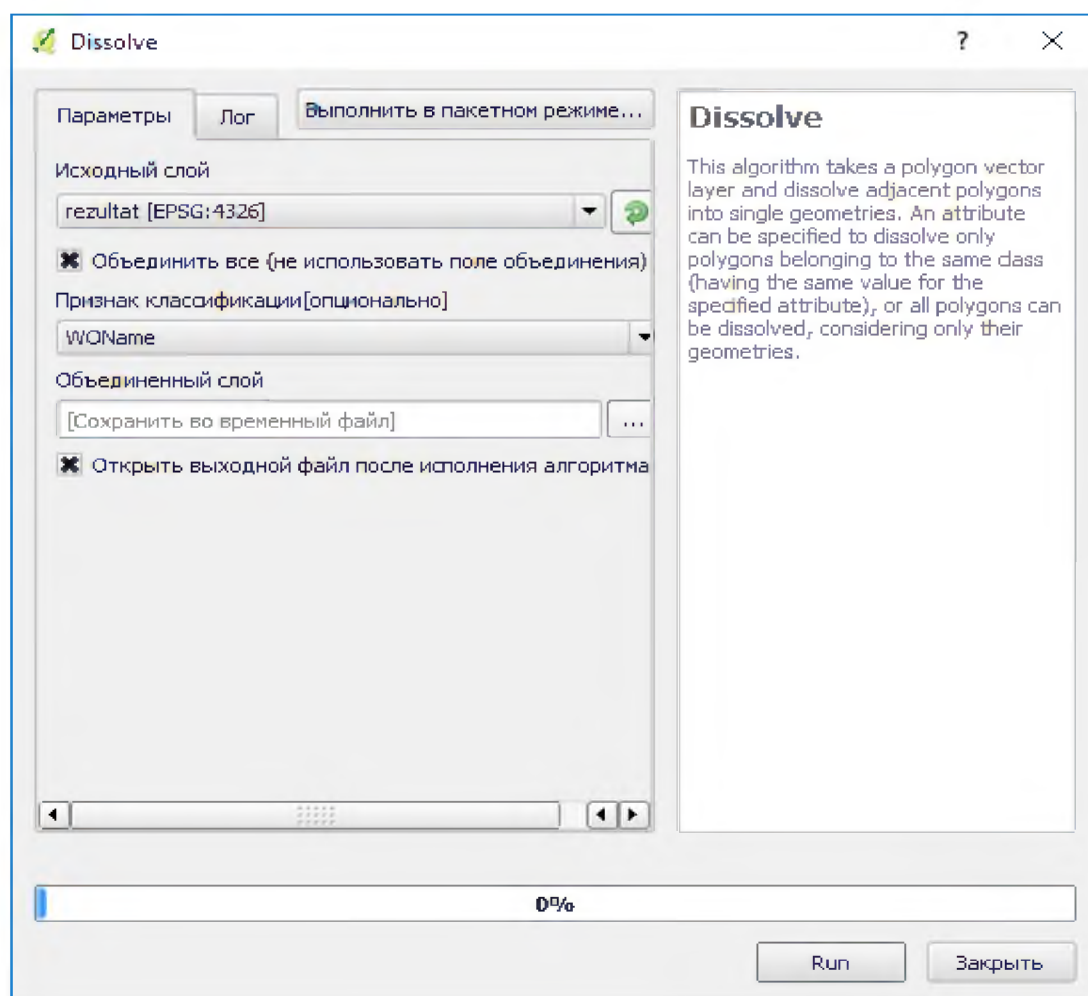


Рисунок 7 – Использование алгоритма Dissolve

В результате получаем объединенный линейный слой без повторяющихся по имени записями содержащий в себе 178 водных объектов бассейна реки Енисей (рисунок 8).

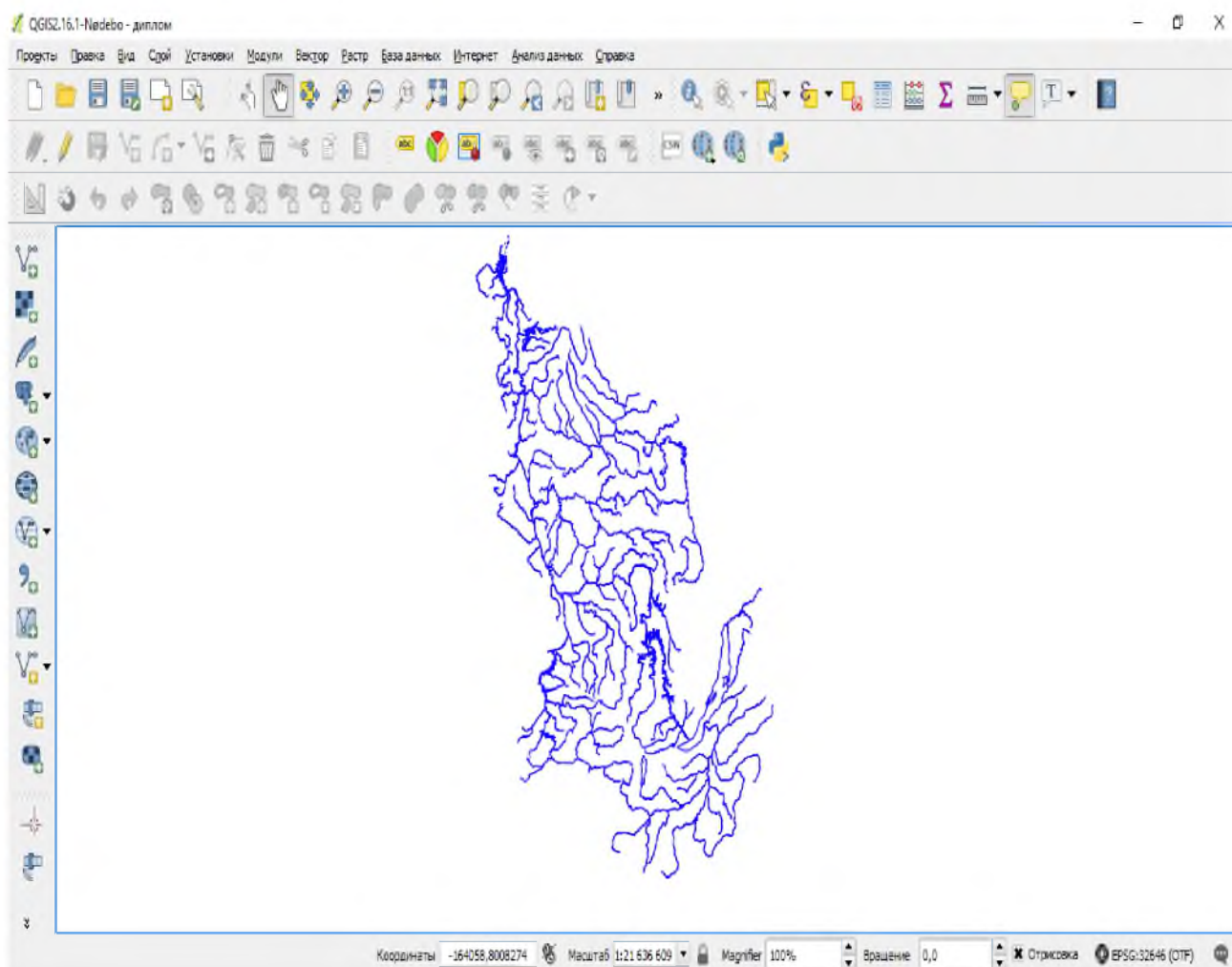
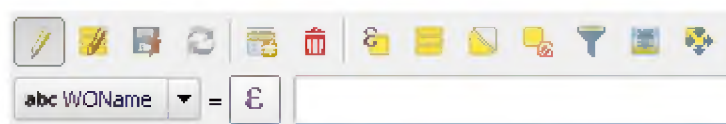


Рисунок 8 - Слой с отфильтрованными водными объектами

В таблице атрибутов линейного слоя создаем текстовое поле «id» и вручную заполняем его используя данные с таблицы Excel, это необходимо для последующего создания связи таблиц (рисунок 9).



	WOName	id
38	Джида	16030000112116300006973
39	Дубчес	17010600112116100059167
40	Дудинка	17010800412116100106466
41	Дюпкун	17010800111116100004452
42	Ейка	17010700112116100070268
43	Елогуй	17010600112116100057194
44	Енисей	17010300112116100000014
45	Ерачимо	17010700412116100094285
46	Желтура (Ацзаргаин-гол...	16030000112116300008328
47	Илим	16010300112116200012989
48	Илимпя	17010700112116100069040

Рисунок 9 - Заполненное поле id

В таблице Excel создаем два новых столбца:

River_ID – уникальный номер водного объекта, Parent_ID – номер реки из которой вытекает данная река.

В процессе заполнения данных полей нажимаем на линию нужной реки, это производится для того, чтобы в таблице атрибутов QGIS увидеть уникальный идентификатор реки, после того как стал известен ее идентификатор, записываем его в таблицу Excel в колонку River_ID, затем смотрим откуда вытекает река и номер реки родителя, вписываем в колонку Parent_ID (рисунок 10).

WOName	River_ID	Parent_ID
ЕНИСЕЙ	220	0
Н.ТУНГУСКА	83	220
ПОДКАМЕН.ТУНГУСКА	28	220
КОЧЕЧУМ	125	83
Чуня (Южн. Чуня)	170	28
МАЛЫЙ ЕНИСЕЙ	208	220
Бол. Енисей	90	220
КУРЕЙКА	3	220
Туба	218	220
КАН	138	220
Турухан	165	220

Рисунок 10 – Таблица в Microsoft Excel связей рек с рекой-родителем

После заполнения всех рек в таблице Excel пересохраняем ее в формате CSV (Разделитель – запятая) и загружаем готовую таблицу в QGIS, для этого в главном меню, выбираем «Слой»/ «Добавить слой»/ «Добавить слой CSV».

Далее создаем связь загруженного слоя со сформированным ранее линейным слоем водных объектов, для чего открываем свойства слоя, далее открываем вкладку «Связи», нажимаем на «+» и добавляем таблицу со связью по полю «id».

В результате получаем сформированный набор геопространственных данных крупных по водосборной площади рек бассейна реки Енисей (рисунок 11).

Выражение

<input type="checkbox"/>	1-я Голова Таймыры
<input type="checkbox"/>	Абакан
<input type="checkbox"/>	Абакан
<input type="checkbox"/>	Авам
<input type="checkbox"/>	Аганыли
<input type="checkbox"/>	Агапа
<input type="checkbox"/>	Агульское
<input type="checkbox"/>	Ак-Суг
<input type="checkbox"/>	Ак-Суг
<input type="checkbox"/>	Алды-Дээрлиг-холь
<input type="checkbox"/>	Амыл
<input type="checkbox"/>	Анама
<input type="checkbox"/>	Ангара
<input type="checkbox"/>	Андоча
<input type="checkbox"/>	Арикингда
<input type="checkbox"/>	Аява
<input type="checkbox"/>	Аякли
<input type="checkbox"/>	Аян
<input type="checkbox"/>	Байкал
<input type="checkbox"/>	Баргузин
<input type="checkbox"/>	Бахта
<input type="checkbox"/>	Белая
<input type="checkbox"/>	Бикада-Нгуома
<input type="checkbox"/>	Бирюса
<input type="checkbox"/>	Бирюса

River_ID	49
Parent_ID	46
WOName	Сев. Таймура
id	17010700312116100084874
WOTName	Река
POS	56208
collecting	32500
WOLength	661
WOarea	NULL
WOType	Водоток
BOID	17
BOName	Енисейский бассейновый округ
RBID	1
RBName	Енисей
SUBBID	7
SUBName	Нижняя Тунгуска
HEPID	17.01.07.003
HEPName	Нижняя Тунгуска от в/п пгт.Тура до в/п п
WOTID	21
GEOLOC	690 км по лв. берегу р. Нижняя Тунгуска

Рисунок 11 – Набор геопространственных данных крупных по водосборной площади рек бассейна реки Енисей

Набор геопространственных данных имеет структуру, представленную в таблице 1.

Таблица 1 – Структура набора геопространственных данных

Имя поля	Описание
ID	Код ВО в государственном водном реестре
VOID	Код бассейнового округа
BONAME	Наименование бассейнового округа
RBID	Код речного бассейна
RBNAME	Наименование речного бассейна
SUBBID	Код речного подбассейна
SUBName	Наименование речного подбассейна
HEPID	Код водохозяйственного участка
HEPNAME	Наименование водохозяйственного участка
WOTID	Код типа водного объекта в ГВР
WOTNAME	Наименование типа водного объекта в ГВР
WONAME	Название водного объекта
GEOLOC	Описание местоположения
IDGIDROL	Код по гидрологической изученности
VOLNUM	Номер тома по гидрологической изученности
VOLVER	Выпуск по гидрологической изученности
WOLENGTH	Длина водотока, км.
COLLECTING_AREA	Водосборная площадь, км ²
WOAREA	Площадь водоема, км ²
RIVER_ID	Уникальный идентификатор реки
PARENT_ID	Идентификатор реки-родителя

4 Формирование бассейнов

Необходимо сформировать бассейны рек, по полученному набору геопространственных данных. Для этого добавляем полученный векторный слой с водосборными бассейнами на территорию Сибири. На начальном этапе слой соержжит 874 подбассейна.

4.1 Объединение полубассейнов в бассейны

Необходимо сформировать бассейны рек из полубассейнов с помощью операции «Слияние». Для этого выделяем полубассейны вокруг отфильтрованных ранее водных объектов и формируем из них полноценные бассейны (рисунок 12).

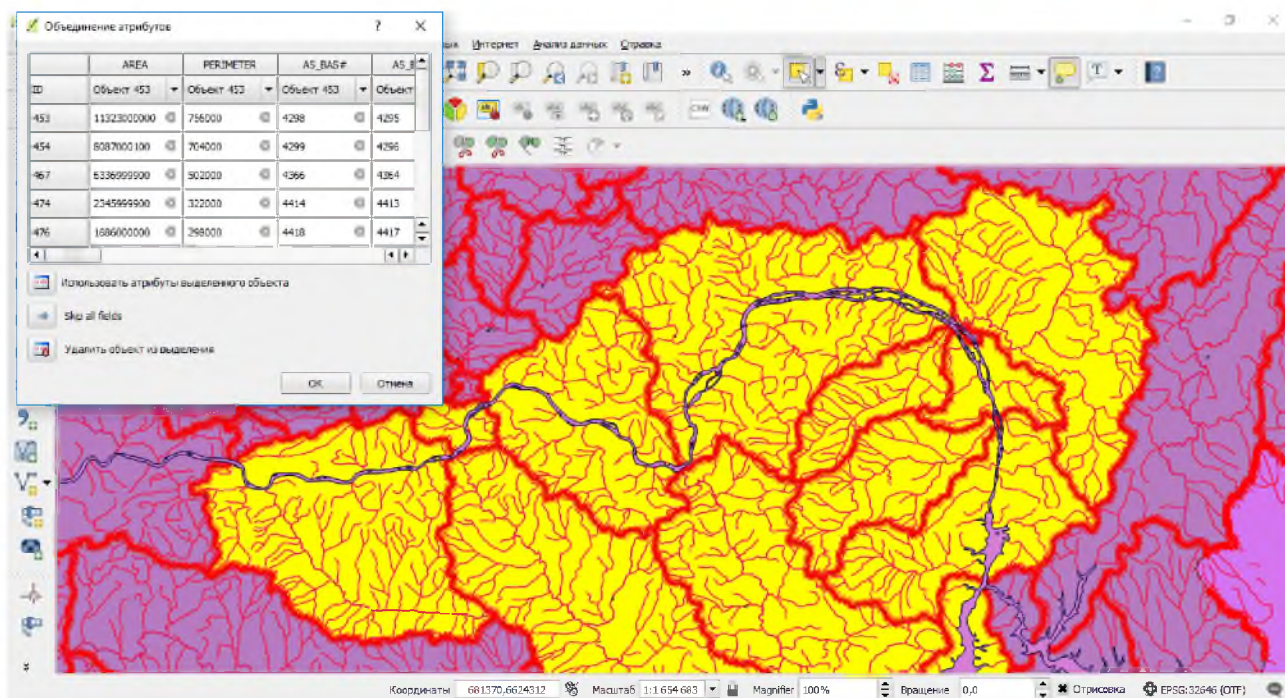


Рисунок 12 - Объединение полубассейнов в бассейны

4.2 Корректировка границ полигонов

Так как исходный слой имеет некоторые неточности, необходимо произвести корректирование границ. Для того чтобы избежать пересечения рек другими бассейнами необходимо скорректировать границы полигонов путем редактирования узлов (рисунок 13).

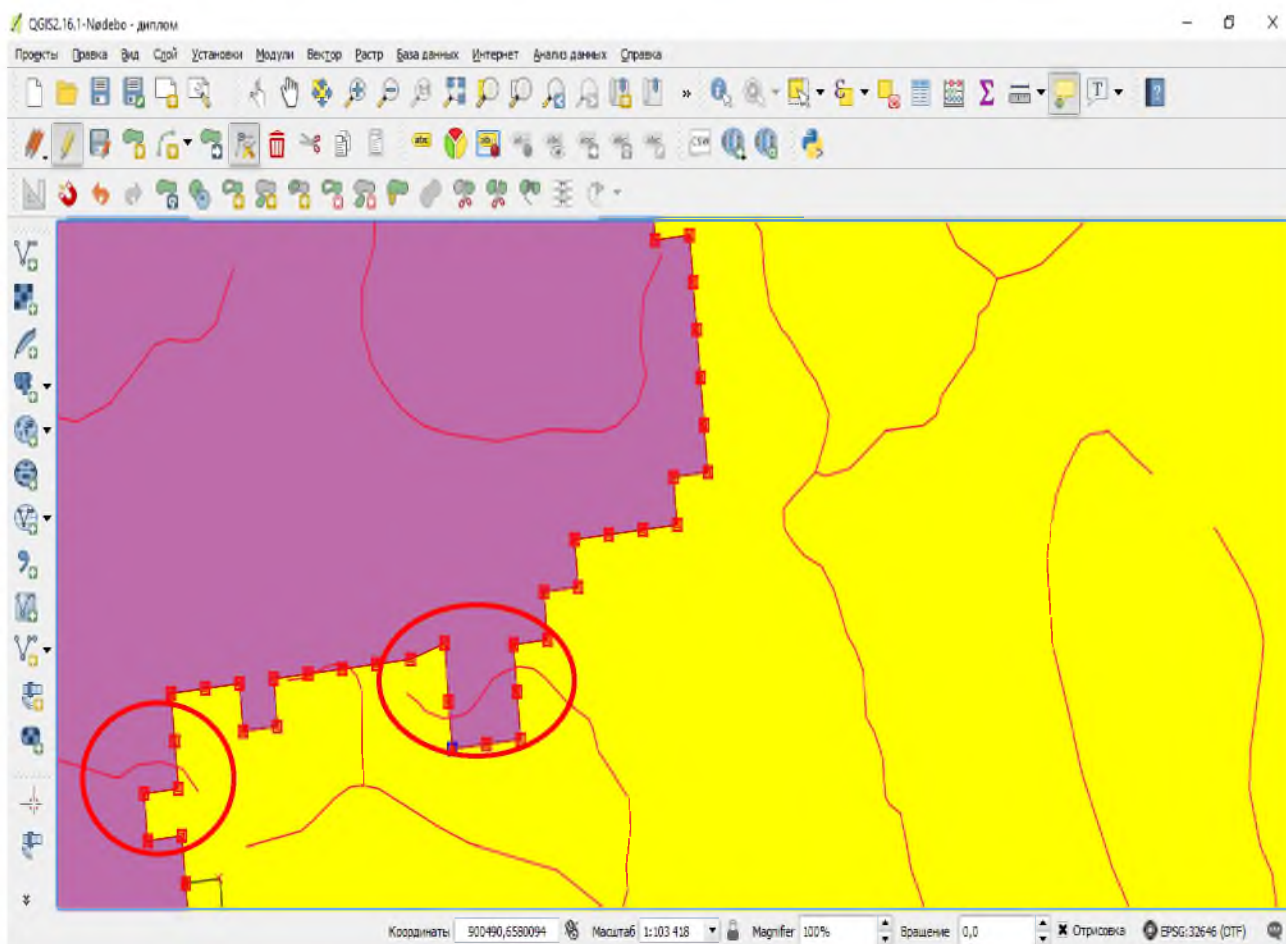
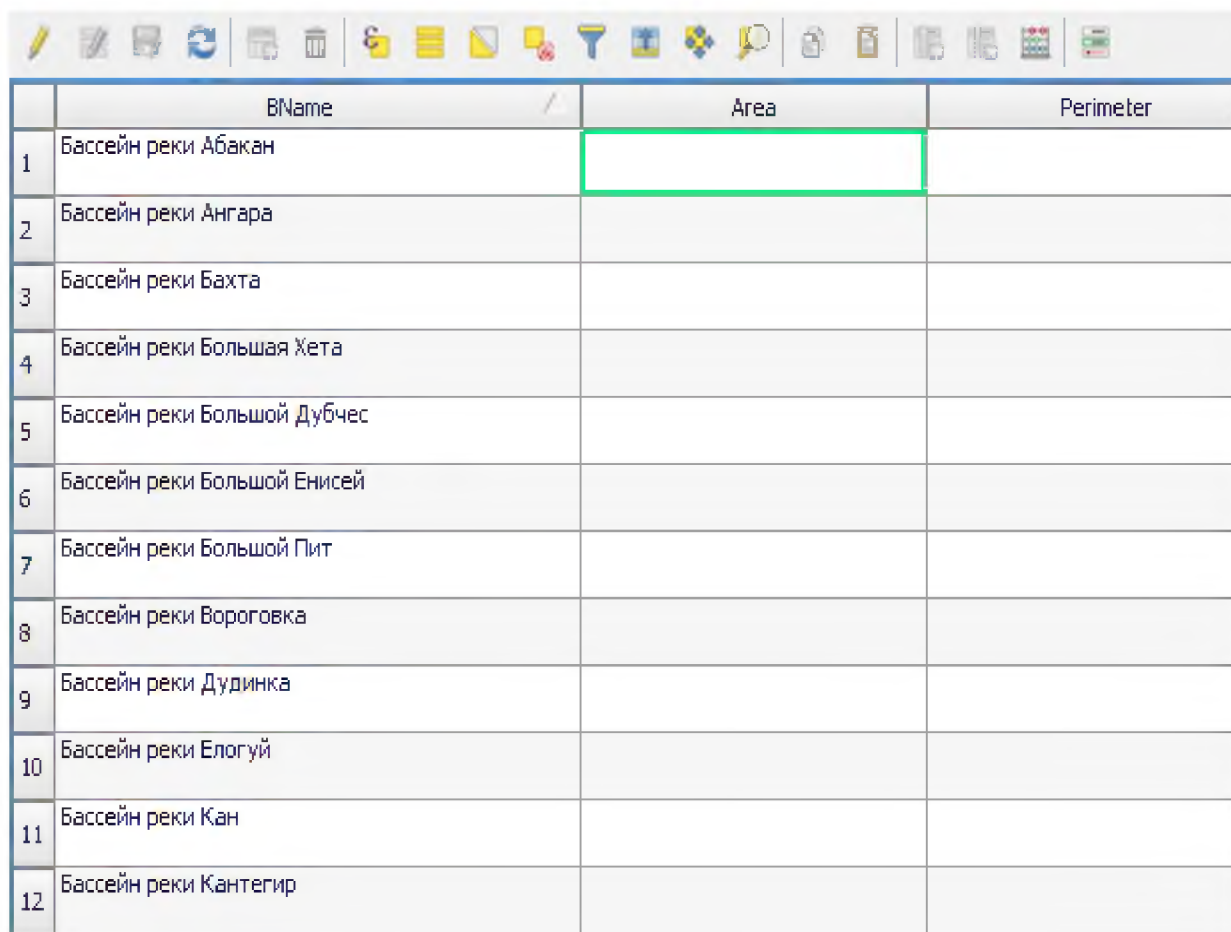


Рисунок 13 - Корректировка границ полигонов

4.3 Добавление и заполнение новых полей в таблицу атрибутов

В таблицу атрибутов полученного слоя добавляем три поля: BName, Area и Perimeter. Далее необходимо заполнить поле BName, для чего выделяем реку и в таблице атрибутов смотрим название реки, лежащей в данном бассейне, и вручную вводим название бассейна (рисунок 14).



	BName	Area	Perimeter
1	Бассейн реки Абакан		
2	Бассейн реки Ангара		
3	Бассейн реки Бахта		
4	Бассейн реки Большая Хета		
5	Бассейн реки Большой Дубчес		
6	Бассейн реки Большой Енисей		
7	Бассейн реки Большой Пит		
8	Бассейн реки Вороговка		
9	Бассейн реки Дудинка		
10	Бассейн реки Елогуй		
11	Бассейн реки Кан		
12	Бассейн реки Кантегир		

Рисунок 14 - Добавление полей в таблицу

В результате получаем заполненное поле с названиями водосборных бассейнов.

4.4 Вычисление площади и периметра водосборных бассейнов

В полях Area и Perimeter вычисляем площадь и периметр водосборных бассейнов используя встроенные средства QGIS. Для этого в калькуляторе полей выбираем обновить существующее поле «Area» и в поле вводим «\$area/1000000» для расчета площади в квадратных километрах (рисунок 15).

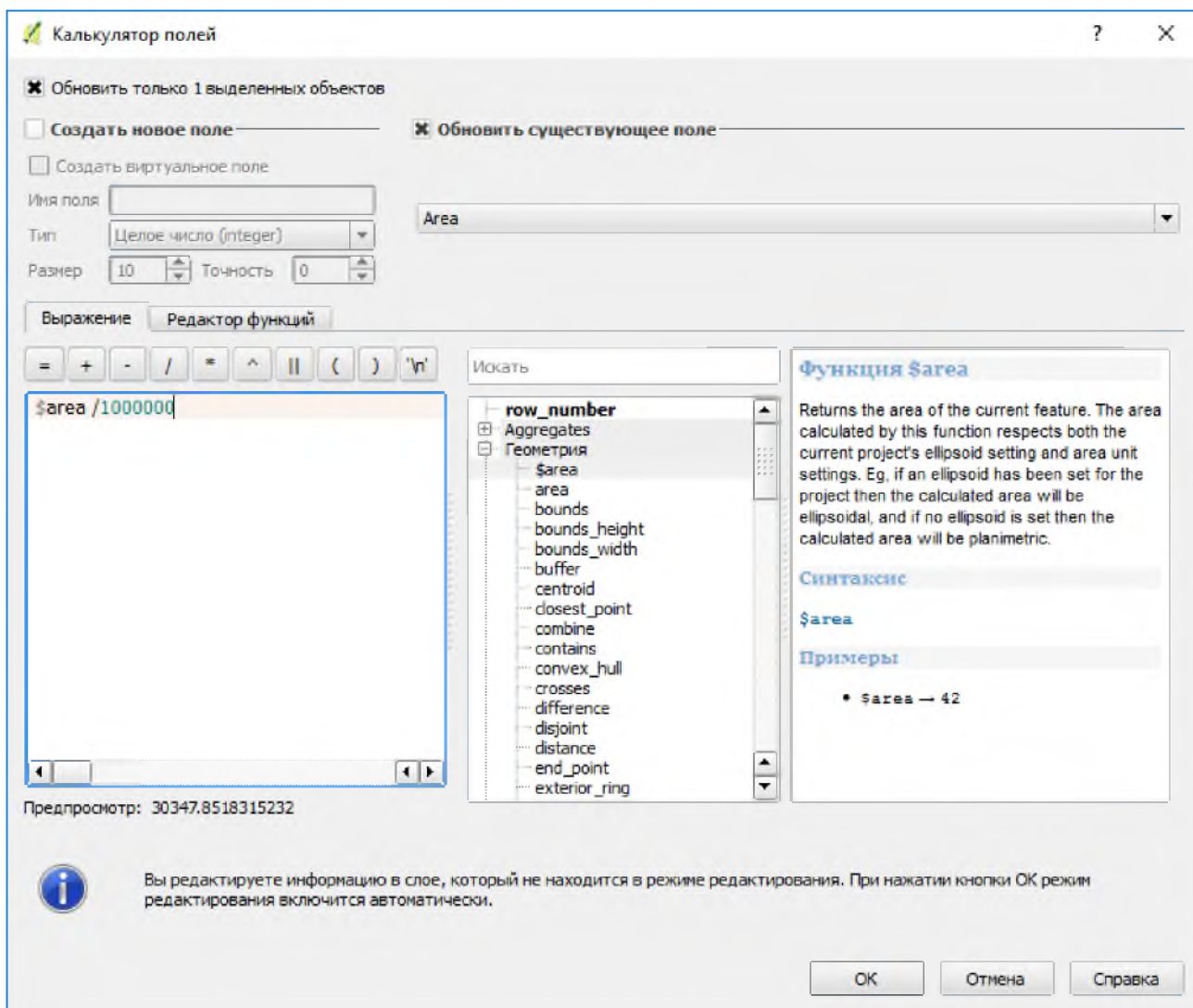


Рисунок 15 – Расчет площади водосборного бассейна встроенными средствами QGIS

Затем рассчитываем периметр в поле «Perimeter», вводя в калькулятор полей выражение «\$perimeter».

Получаем полигональный слой водосборных бассейнов бассейна реки Енисей с рассчитанной для них площадью и периметром (рисунок 16).



	BName	Area	Perimeter
1	Бассейн реки Большой Дубчес	15346.390	1013908
2	Бассейн реки Хемчик	26966.907	1042106
3	Бассейн реки Ангара	1050101.945	10964787
4	Бассейн реки Елогуй	23127.912	1209801
5	Бассейн реки Хантайка	30347.852	1272936
6	Бассейн реки Большая Хета	26498.277	1297338
7	Бассейн реки Кан	36814.612	1300917
8	Бассейн реки Сым	31890.325	1352424
9	Бассейн реки Абакан	34272.372	1435372
10	Бассейн реки Туба	37312.377	1464546
11	Бассейн реки Турухан	35607.789	1491075
12	Бассейн реки Бахта	34902.117	1542320
13	Бассейн реки Большой Енисей	56614.043	1783970

Рисунок 16 – Рассчитанные площадь и периметр водосборных бассейнов

В результате проделанной работы получили слой с водосборными бассейнами крупных по водосборной площади рек (более 5000 км²) бассейна реки Енисей (рисунок 17).

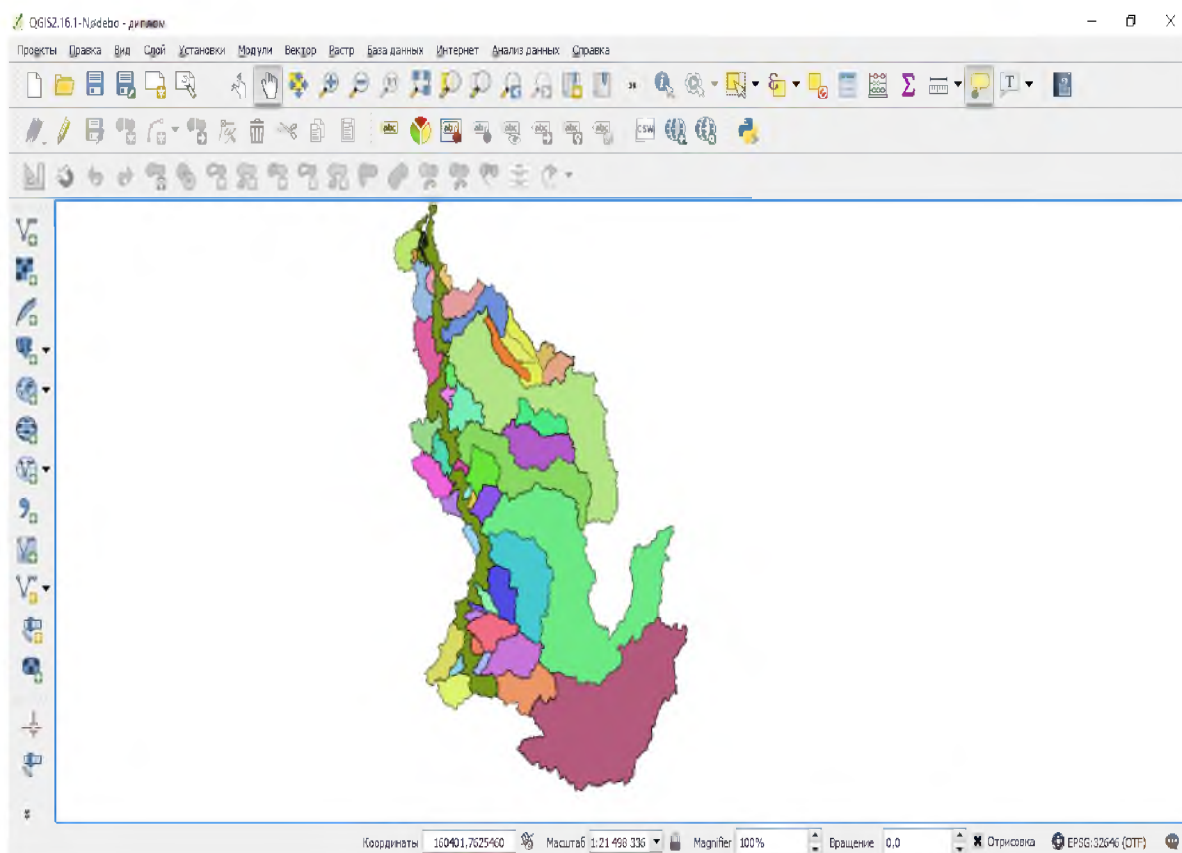


Рисунок 17 - Слой водосборных бассейнов крупных по водосборной площади рек бассейна реки Енисей

По завершению формирования получилось 35 бассейнов первого порядка, 6 бассейнов второго порядка и 4 бассейна третьего порядка рек бассейна реки Енисей с рассчитанными для них площадью и периметром.

5 Система идентификации водосборных бассейнов

Бассейн реки Енисей является бассейном первого порядка, ему присваивается «id» = 1. Далее, начиная от точки устья реки Енисей в том порядке в котором встречаются впадающие в него реки нумеруются все их водосборные бассейны. Затем по тому же принципу нумеруются бассейны третьего, четвертого и следующих порядков (рисунок 18).

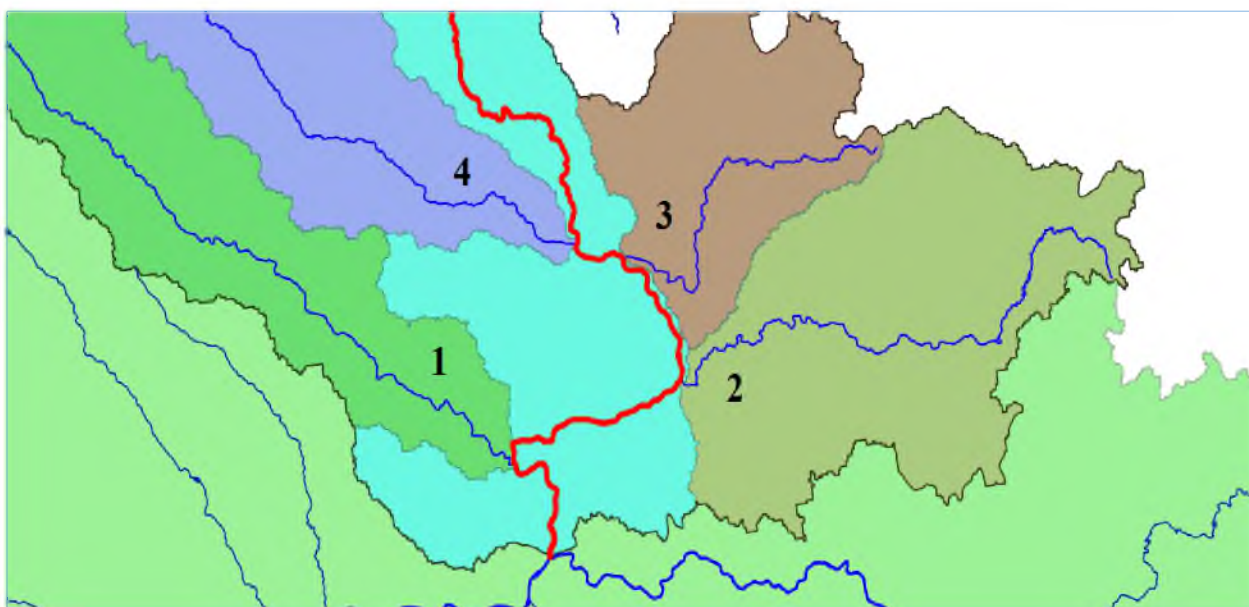


Рисунок 18 – Нумерация водосборных бассейнов по порядку от устья реки

Номер каждого порядка заканчивается точкой, например, «1.» - бассейн первого порядка, «1.1.» - бассейн второго порядка, «1.1.1.» - бассейн третьего порядка и так далее (рисунок 19).

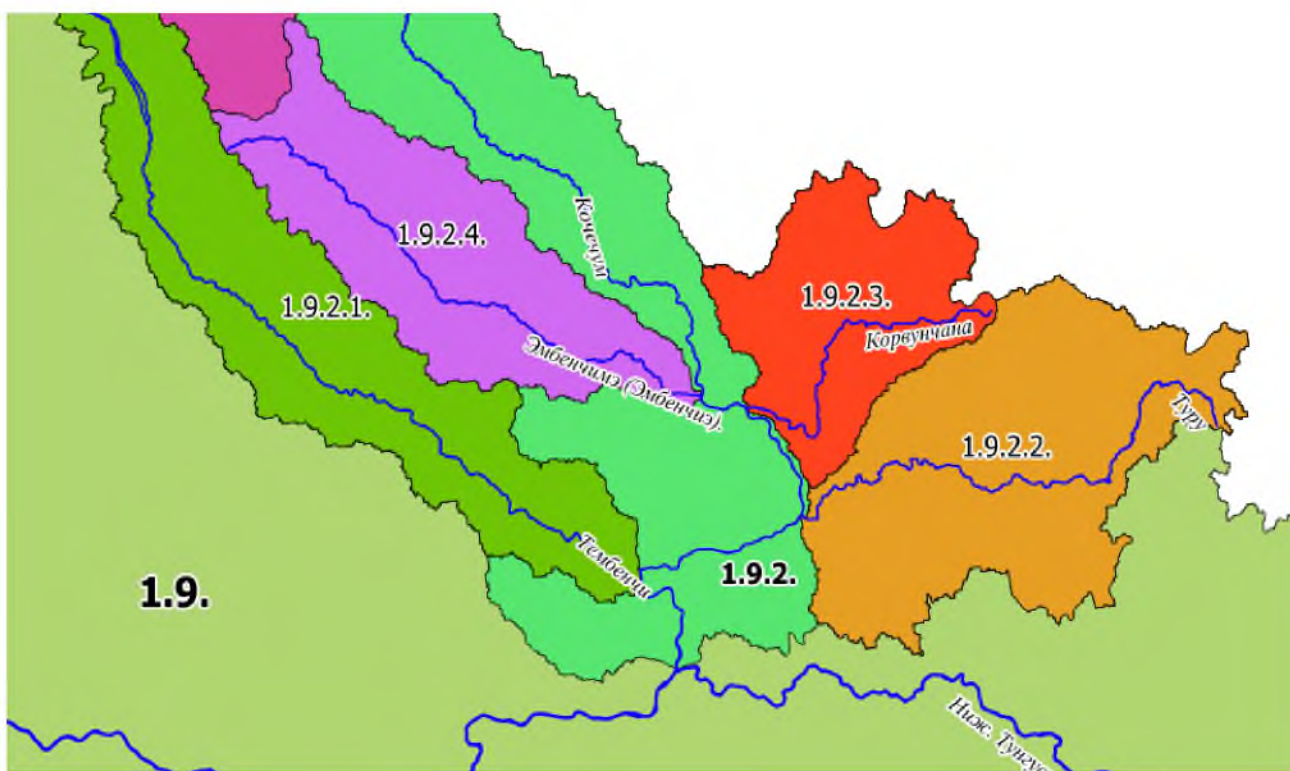


Рисунок 19 – Нумерация водосборных бассейнов 2, 3 и 4 порядков на примере реки Нижняя Тунгуска

В результате была организована система идентификации бассейнов, которая в отличие от используемого в России водохозяйственного районирования обладает вложенностью объектов.

6 Направления дальнейших исследований

В дальнейшем данную работу хотелось бы провести со всей территорией Красноярского края, а именно включить Ангаро-Байкальский бассейновый округ, а также расширить построение водосборных бассейнов до второго и третьего порядков. Касательно атрибутивной таблицы водосборных бассейнов, хотелось бы дальше дополнить базу данных о речной сети по всему Красноярскому краю.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассматривалась задача формирования водосборных бассейнов рек с водосборной площадью более 5000 км² реки Енисей.

Исходные данные - векторные слои данных с гидрографией на указанную территорию в масштабе 1:1 000 000, данные государственного водного реестра в виде txt – файлов, векторный слой с водосборными бассейнами на территорию Сибири.

В результате работы была сформирована карта с водосборными бассейнами реки Енисей.

Промежуточные этапы выполнения работы:

- были изучены инструменты оцифровки, инструменты работы с векторными данными (склеивание, создание новых shape-файлов) в программе QGIS.

- с помощью программы QGIS был сформирован слой с крупными по водосборной площади реками бассейна реки Енисей (более 5000 км²), по завершению формирования получилось 178 рек;

- в программе QGIS с помощью инструментов оцифровки (склеивание и редактирование вершин) вручную были сформированы полноценные бассейны из полубассейнов рек, по завершению формирования получилось 35 бассейнов первого порядка, 6 бассейнов второго порядка и 4 бассейна третьего порядка;

- в программе Microsoft Excel была создана таблица с уникальными идентификаторами рек и рек-родителей, а так же информацией о водных объектах, которая была экспортирована в QGIS;

- с помощью программы QGIS были вычислены такие гидрографические характеристики водосборных бассейнов как площадь и периметр.

- была организована система идентификации водосборных бассейнов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дутова Е.М. Высотная гидрогеохимическая зональность Алтае-Саянской складчатой области// Материалы научной конференции по проблемам поисковой и экологической геохимии Сибири: Изд-во ТПУ - 2003. – С. 69.
2. Горбачев В.П., Кормильцына Л. В. Определение характеристик водосборного бассейна и расчетного расхода стока: Изд-во ХГТУ- 2003. - С. 35.
3. Разработка Института географии РАН [Электронный ресурс]: ГИС-проекты. Геоинформационные системы. – Режим доступа: <http://www.webgeo.ru/index.php?r=63>.
4. Погорелов А.В., Салпагаров А.Д., Киселев Е.Н., Куркина Е.В. Геоинформационный метод в практике региональных физико-географических исследований: Изд-во Тебердинский государственный заповедник – 2007. – С. 87.
5. Научно-популярная энциклопедия Вода России [Электронный ресурс] : Водохозяйственное районирование. – Режим доступа: <http://water-rf.ru/%D0%93%D0%BB%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B9/1495/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%85%D0%BE%D0%B7%D1%8F%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5>
6. Консорциум кодекс [Электронный ресурс] : Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902201371?block=4>.
7. ESRI [Электронный ресурс] : ArcGIS Resources. – Режим доступа: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.2/index.html#//009z0000005m000000>.

8. Verdina K. L. A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins / K. L. Verdina, J. P. Verdin //Journal of Hydrology. – 1999. – 218. – p. 1–12.
9. Сайт Тамбовский Государственный Технический Университет. Отдел Гис технологий [Электронный ресурс] : Возможности QGIS. – Режим доступа: <http://gis.web.tstu.ru/vozmogquantum.html>.
10. Информатика и компьютерная техника. [Электронный ресурс] : Офисные прикладные программы Microsoft Office 2007. – Режим доступа: <http://www.lessons-tva.info/edu/inf-excel/excel.html>.
11. Федеральное агентство водных ресурсов [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://voda.mnr.gov.ru>.
12. Геопортал ИВМ СО РАН [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://gis.krasn.ru>.
13. Никитенков А.Н. Речной сток и морфометрические параметры водосборов северной части Кузнецкого Алатау// Известия Томского политехнического университета: Изд-во ТПУ – 2010. – С. 147.
14. Furst J. Coding of watershed and river hierarchy to support GIS-based hydrological analyses at different scales //Computers & Geosciences. – 2009. - 35. – p. 688–696.